

2. Приведенный в качестве примера расчет свайной стенки свидетельствует о том, что результаты вычислений по «Руководству» [2] для упругой стадии работы системы «стенка-грунт», а также в предельном состоянии без учета нагрузки g дают заниженное значение момента. Максимальная величина момента в предельном состоянии с учетом равномерно распределенной нагрузки находится ближе к поверхности засыпки, что приводит к неправильной оценке работы стенки и может вызвать ее разрушение.

1. Основания, фундаменты и подземные сооружения / М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др.; Под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.

2. Руководство по проектированию свайных фундаментов / НИИОСП им. Н.М. Герсаванова Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1980.

3. Лучковский И.Я. Взаимодействие конструкций с основанием // Библиотека журналу ГТЕ. Т.3. – Харків: ХДАГХ, 2000. – 264 с.

4. Малиев А.С. Балки на упругом основании с переменным по их длине коэффициентом постели // Тр. Ленинград. ин-та инженеров промышленного строительства. Вып.6. – Л.: ГОНТИ, 1938. – С.9-34.

Получено 27.04.2012

УДК 624.015.5

В.М.ДЖУРА, канд. техн. наук, О.В.КРИВОРУЧЕНКО

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СТИСНУТИХ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ КІЛЬЦЕВОГО ПЕРЕРІЗУ З УРАХУВАННЯМ ДЕФОРМУВАННЯ ПІД ДІЄЮ НАВАНТАЖЕННЯ

Наведено методику оцінки напружено-деформованого стану стиснутих трубобетонних елементів кільцевого перерізу з урахуванням деформування під дією навантаження.

Приведена методика оценки напряженно-деформированного состояния сжатых трубобетонных элементов кольцевого сечения с учетом деформирования под действием нагрузки.

The article contains methodology of calculation of stress-strain state of compressed ring section pipe concrete construction. Methodology take into account the warping of the element from loading under condition eccentric compression.

Ключові слова: деформація, елементарна ділянка, напруження, трубобетон.

Останнім часом у світі спостерігається розвиток і впровадження будівельних конструкцій з раціональним сполученням сталі та бетону. Одним із різновидів таких конструкцій є трубобетонні конструкції, які мають оптимальну конструктивну форму, зручні при виготовленні та експлуатації. Для проектування таких конструкцій необхідно викори-

стовувати методику розрахунку, яка б відображала роботу конструкції, наближену до дійсної.

Питання теорії розрахунку та результати досліджень трубобетонних конструкцій розглянуто в роботах Л.І. Стороженка, О.А. Долженка, В.М. Сурдіна [1-3] та інших дослідників [4]. У цих роботах наведено різні методику розрахунку конструкцій, але деякі проблеми розрахунку залишаються не вирішеними. Зокрема не вивчені питання врахування наявності порожнин в перерізі конструкції та зміна (викривлення) геометричної осі стиснутого елемента під дією навантаження.

При проектуванні будівель іноді виникає необхідність використовувати колони із трубобетонних елементів кільцевого перерізу. Тому розроблення методики розрахунку таких конструкцій, враховуючи деформування елемента під дією навантаження є актуальною задачею.

Мета статті – запропонувати методику оцінки напружено-деформованого стану стиснутих трубобетонних елементів кільцевого перерізу з урахуванням викривлення геометричної осі під дією навантаження.

У стиснутих елементах під дією навантаження відбувається деяке викривлення елемента, його вигин. Тому при розробленні методики розрахунку було поставлено завдання – врахувати зміну положення геометричної осі під дією навантаження, а також можливість визначення напружень і деформацій у будь-якій точці перерізу.

Розрахунок розглянутих конструкцій допускає роботу стиснутих елементів у пружно-пластичній стадії до моменту досягнення граничних деформацій. Оцінка напружено-деформованого стану виконується шляхом визначення деформацій і напружень у нормальному перерізі. Для оцінки напружено-деформованого стану використовуються два рівняння рівноваги:

- рівняння рівноваги проєкцій всіх сил на поздовжню вісь конструкції;
- рівняння рівноваги моментів відносно якої-небудь вибраної осі в перерізі конструкції, що перпендикулярна площині дії згинаючого моменту.

При розрахунку конструкцій в загальному випадку приймається полярна система координат (кут β , довжина X) з початком у центрі кола всього перерізу. При цьому переріз конструкції розглядається як набір p елементарних ділянок зовнішньої труби (з індексом h), m елементарних кілець (з індексом i) по n елементарних ділянок бетону в кожному (з індексом j), w елементарних ділянок внутрішньої труби (з індексом k). Загальний вигляд перерізу зображено на рисунку.

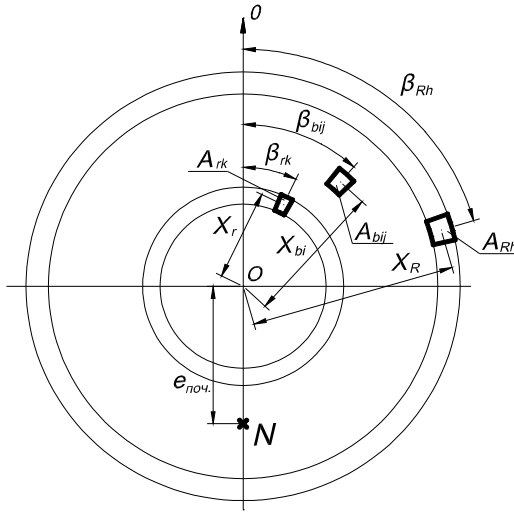


Схема перерізу трубобетонного елемента

В цьому випадку рівняння рівноваги мають вигляд:

$$\begin{cases} N - \sum_{h=1}^p \sigma_{Rh} A_{Rh} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{bij} A_{bij} - \sum_{k=1}^w \sigma_{rk} A_{rk} = 0 \\ N e - X_R \cdot \sum_{h=1}^p \sigma_{Rh} A_{Rh} - \sum_{i=1}^m \left(X_{bi} \cdot \sum_{j=1}^n \sigma_{bij} A_{bij} \right) - X_r \cdot \sum_{k=1}^w \sigma_{rk} A_{rk} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де N – зовнішня поздовжня сила; e – відстань від сили N до центра кола всього перерізу, відносно якого визначаються моменти внутрішніх сил в бетоні, сталі та арматурі; A_{Rh} , A_{bij} , A_{rk} – площа елементарних ділянок відповідно бетону, сталі та арматури; X_R , X_{bi} , X_r – відстань від центра кола всього перерізу до центра ваги елементарних ділянок (відповідно бетону, сталі та арматури); σ_{Rh} , σ_{bij} , σ_{rk} – напруження на елементарних ділянках відповідно бетону, сталі та арматури.

Умова деформування нормального перерізу конструкції приймається у вигляді плоского повороту з лінійним розподілом деформацій за висотою перерізу від розглядуваних впливів.

При проведенні розрахунку умовно приймається, що деформації в бетоні розвиваються в три стадії (пружна, пружно-пластична та пластична) за лінійними законами.

Для врахування впливу зміни геометричної форми стиснутого елемента під дією навантаження за повну відстань e від сили N до центра кола всього перерізу, відносно якого визначаються моменти внутрішніх сил в бетоні, сталі та арматурі приймається вираз

$$e = e_{noc.} + r - \sqrt{r^2 - \frac{1}{4}l_{ef}^2},$$

де r – радіус кривизни стиснутого елемента; l_{ef} – висота стиснутого елемента.

Розрахунок деформацій стиснутого елемента виконується шляхом визначення поздовжньої деформації на рівні вибраного центру кола всього перерізу ε_0 з рівнянь рівноваги, які прийнято за основу розрахунку. За відомим значенням деформації ε_0 визначаються деформації бетону ε_{bij} , сталі зовнішньої труби ε_{Rh} та сталі внутрішньої труби ε_{rk} за наступними формулами:

$$\varepsilon_{Rh} = \varepsilon_0 - \frac{1}{r} X_{Rh}; \quad \varepsilon_{bij} = \varepsilon_0 - \frac{1}{r} X_{bij}; \quad \varepsilon_{rk} = \varepsilon_0 - \frac{1}{r} X_{rk},$$

де $1/r$ – кривизна в розглянутому перерізі.

Тоді вищезазначені рівняння рівноваги (1) можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} N = c_{11} \cdot \varepsilon_0 + c_{12} \cdot 1 / r \\ N \cdot e = c_{21} \varepsilon_0 + c_{22} \cdot 1 / r \end{cases} \quad (2)$$

Коефіцієнти $c_{11}, c_{12}, c_{21}, c_{22}$ визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} c_{11} &= E_R \sum_{h=1}^p \nu_{Rh} A_{Rh} + E_b \sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^n \nu_{bij} A_{bij} \right) + E_r \sum_{k=1}^w \nu_{rk} A_{rk}; \\ c_{12} &= -E_R X_R \sum_{h=1}^p \nu_{Rh} A_{Rh} - E_b \sum_{i=1}^m \left(X_{bi} \sum_{j=1}^n \left(\nu_{bij} A_{bij} \right) \right) - E_r X_r \sum_{k=1}^w \nu_{rk} A_{rk}; \\ c_{21} &= E_R X_R \sum_{h=1}^p \nu_{Rh} A_{Rh} + E_b \sum_{i=1}^m \left(X_{bi} \sum_{j=1}^n \left(\nu_{bij} A_{bij} \right) \right) + E_r X_r \sum_{k=1}^w \nu_{rk} A_{rk}; \\ c_{22} &= -E_R X_R^2 \sum_{h=1}^p \nu_{Rh} A_{Rh} - E_b \sum_{i=1}^m \left(X_{bi}^2 \sum_{j=1}^n \left(\nu_{bij} A_{bij} \right) \right) - E_r X_r \sum_{k=1}^w \nu_{rk} A_{rk}, \end{aligned}$$

де ν_{Rh} , ν_{bij} , ν_{rk} – коефіцієнти пружності відповідно бетону, сталі зовнішньої труби та сталі внутрішньої труби, що визначаються залежно від деформації на елементарних ділянках ε_{Rh} , ε_{bij} , ε_{rk} .

Коефіцієнти пружності бетону обчислюються за формулами:

$$\text{при } |\varepsilon_{bij}| \leq \left| \frac{0,6 \cdot R_b}{E_b} \right| \quad \nu_{bij} = 1;$$

$$\text{при } \left| \frac{0,6 \cdot R_b}{E_b} \right| < |\varepsilon_{bij}| \leq 0,002$$

$$\nu_{bij} = \frac{R_b}{E_b} \left[\frac{1 - 0,6}{-0,002 - \frac{0,6 \cdot R_b}{E_b}} \left(1 - \frac{0,6 \cdot R_b}{E_b \cdot \varepsilon_{bij}} \right) + \frac{0,6}{\varepsilon_{bij}} \right];$$

$$\text{при } 0,002 < |\varepsilon_{bij}| \leq 0,034 \quad \nu_{bij} = \frac{R_b}{E_b \cdot \varepsilon_{bij}}.$$

Коефіцієнти пружності сталі зовнішньої труби обчислюються за формулами:

$$\text{при } |\varepsilon_{Rh}| \leq \left| \frac{R_y}{E_R} \right| \quad \nu_{Rh} = 1;$$

$$\text{при } \left| \frac{R_y}{E_R} \right| < |\varepsilon_{Rh}| \leq \left| \frac{\beta \cdot R_y}{E_R} \right| \quad \nu_{Rh} = \frac{R_y}{E_R \cdot \varepsilon_{Rh}}.$$

Коефіцієнти пружності сталі внутрішньої труби обчислюються за такими формулами:

$$\text{при } |\varepsilon_{rk}| \leq \left| \frac{R_y}{E_r} \right| \quad \nu_{rk} = 1;$$

$$\text{при } \left| \frac{R_y}{E_r} \right| < |\varepsilon_{rk}| \leq \left| \frac{\beta \cdot R_y}{E_r} \right| \quad \nu_{rk} = \frac{R_y}{E_r \cdot \varepsilon_{rk}},$$

де β – коефіцієнт деформацій сталі внутрішньої труби, що приймається залежно від марки сталі.

Процедура визначення деформацій стиснутих елементів при заданому навантаженні така:

1. Обчислюють $c_{11}, c_{12}, c_{21}, c_{22}$ при $v_{bij} = v_{rk} = v_{Rh} = 1$ та $e = e_{поч.}$.

2. Із розв'язку рівнянь рівноваги (2) визначають значення деформації на рівні центра кола всього перерізу ε_0 та кривизни в перерізі $1/r$.

3. За отриманими значеннями деформації на рівні центру кола всього перерізу та кривизни в бетонному перерізі визначають деформації бетону, сталі зовнішньої труби та сталі внутрішньої труби на кожній елементарній ділянці ε_{bij} , ε_{rk} та ε_{Rh} .

4. За отриманими деформаціями в бетоні, сталі зовнішньої труби та сталі внутрішньої труби визначають нові значення коефіцієнтів пружності v_{bij} , v_{rk} , v_{Rh} .

5. При нових значеннях коефіцієнтів пружності обчислюють коефіцієнти $c_{11}, c_{12}, c_{21}, c_{22}$.

6. Обчислюють уточнену відстань від точки прикладення навантаження N до центра кола перерізу e з урахуванням прогину f .

7. Із розв'язку рівнянь (2) знову визначають значення ε_0 та $1/r$.

Процес розрахунку повторюється до тих пір, доки різниця значень деформації на кожній елементарній ділянці, отриманих за новим і попереднім розрахунком, не буде менше деякої заданої величини, що розглядається як точність розрахунку.

Запропонована нами методика дозволяє точніше визначати деформації стиснутих трубобетонних елементів кільцевого перерізу при заданому навантаженні та зміні положення вертикальної осі. Ця методика відображає картину деформування елемента, наближену до дійсної, оскільки враховує вплив прогину на деформації стиснутого елемента.

1.Стороженко Л.И. Трубобетонные конструкции / Л.И. Стороженко, А.В. Семко, В.И. Ефименко. – К.: Четверта хвиля, 1996. – 158 с.

2.Долженко А.А. Трубобетонные конструкции на строительстве производственного здания // Промышленное строительство. Вып. 6 / А.А. Долженко. – К.: Строительство и архитектура, 1965. – С.23-26.

3.Сурдин В.М. Исследование напряженно-деформированного состояния трубобетонных элементов при осевом нагружении с учетом реологических процессов: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук / В.М. Сурдин. – Одесса, 1970. – 21 с.

4.Джура В.М. Напружено-деформований стан стиснутих сталезалізобетонних елементів // Зб. наук. праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. Вип. 17 / В.М. Джура. – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – С.93-95.

Отримано 13.06.2012